

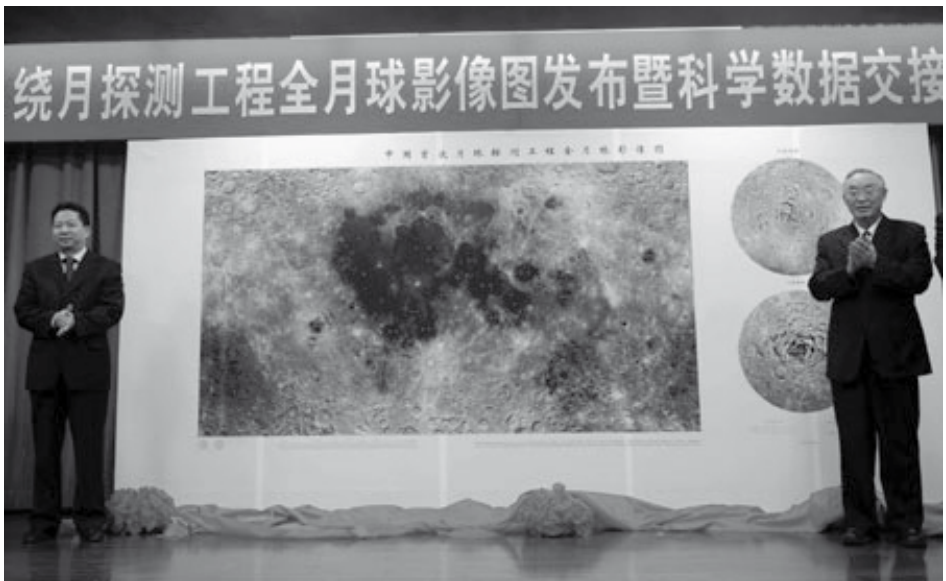
L'astronomie dans le monde

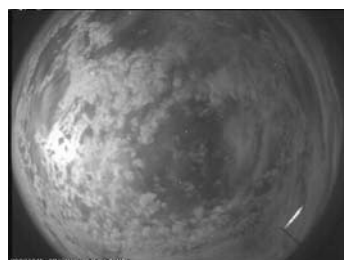
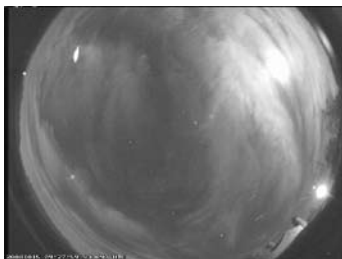
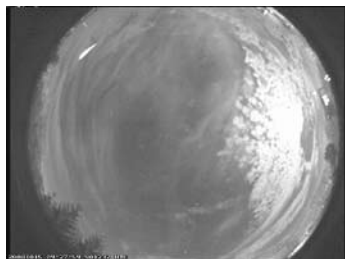
Chang'e-1

Les scientifiques chinois ont publié la première carte de la surface lunaire qu'ils ont obtenue grâce à la sonde Chang'e-1, presque un an après son lancement. Cette image couvre la totalité de la surface lunaire avec une résolution de 120 mètres par pixel. Selon les experts du programme, cette carte est l'image

de la surface lunaire la plus complète publiée à ce jour, ainsi que la plus riche en détails. D'autres missions spatiales ont obtenu des images comparables, voire de bien meilleure définition, mais ne couvraient pas la totalité de notre satellite.

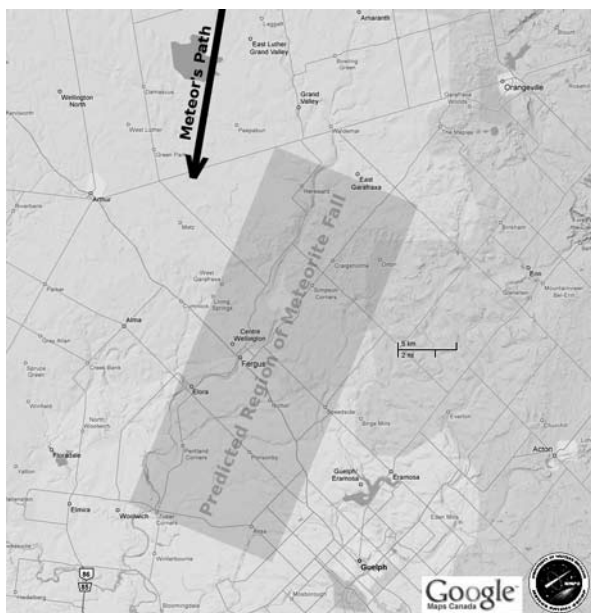
La carte lunaire chinoise présentée au Musée national de Chine lors d'une conférence de presse. (Photo: Xinhua)





Météorite

Ce n'est pas courant de pouvoir retracer avec précision la trajectoire d'une météorite lors de son entrée dans l'atmosphère. Le matin du 15 octobre, les sept caméras all-sky du réseau SOMN (Western's Southern Ontario Meteor Network) ont pu enregistrer un même bolide sous des angles différents, ce qui pourrait permettre de situer le site d'éventuels débris arrivés au sol. L'analyse des météorites bénéficie évidemment grandement de la connaissance de leur trajectoire, et donc de leur orbite initiale dans le système solaire.



Aurore mystérieuse sur Saturne

Saturne possède une variété unique d'aurore polaire, tout à fait distincte de toutes les autres connues dans le système solaire. C'est ce qu'a montré la sonde Cassini en étudiant des régions plongées dans la nuit de Saturne et inaccessibles au télescope Spatial Hubble.

Au lieu d'un simple anneau comme sur Terre et Jupiter, cette aurore couvre une énorme partie des régions polaires au-delà de 82 degrés de latitude, une zone qui, selon les théories actuelles, devrait en être exempte. Cette aurore est très changeante et peut disparaître en moins d'une heure pour réapparaître ensuite.

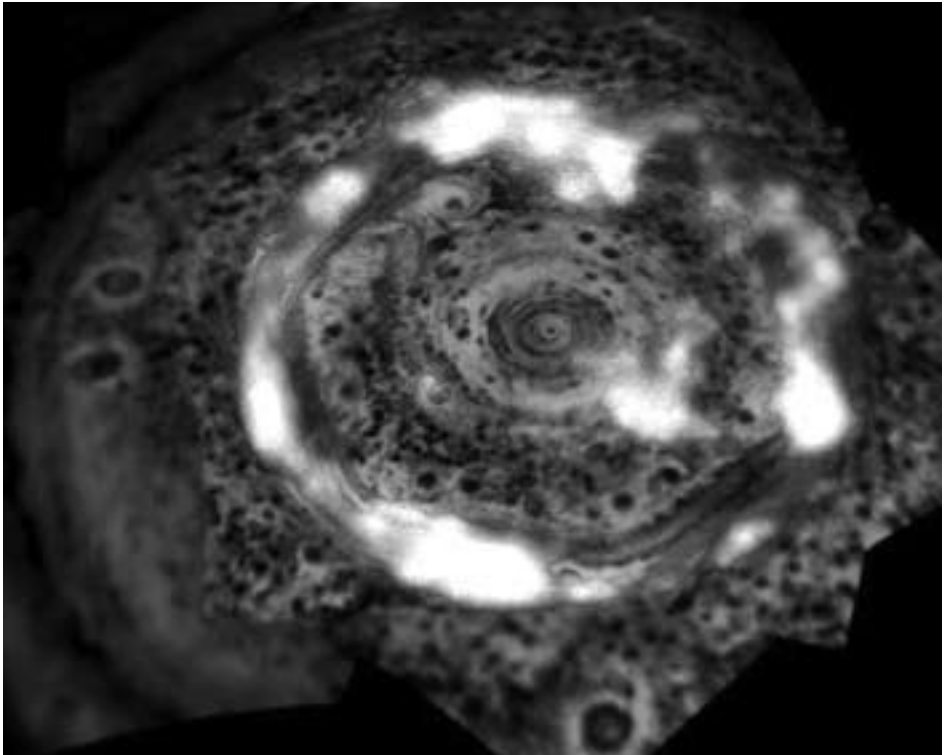
Les aurores sont provoquées par des particules chargées se déplaçant le long des lignes de force magnétiques d'une planète et frappant la haute atmosphère. Sur Terre, ce sont des

particules en provenance du Soleil. Quant aux aurores de Saturne et de Jupiter, la plupart sont causées par des particules piégées dans l'environnement magnétique des planètes.

L'anneau auroral principal de Jupiter, créé par les interactions internes de l'environnement magnétique garde un diamètre constant. L'aurore principale de Saturne, produite par le vent solaire, change fortement de taille avec les variations du vent. La nouvelle aurore observée sur Saturne n'appartient à aucune de ces catégories.

Les caractéristiques spéciales de cette aurore forceront les scientifiques à inventer de nouvelles théories concernant la physique régnant dans le voisinage de Saturne.

L'image de l'aurore est ici artificiellement superposée à une image infrarouge du pôle montrant les couches inférieures de l'atmosphère et les nuages silhouettés par dessus. (© NASA/JPL/University of Arizona)

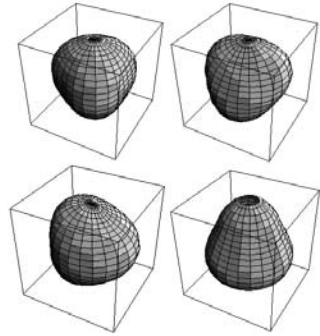
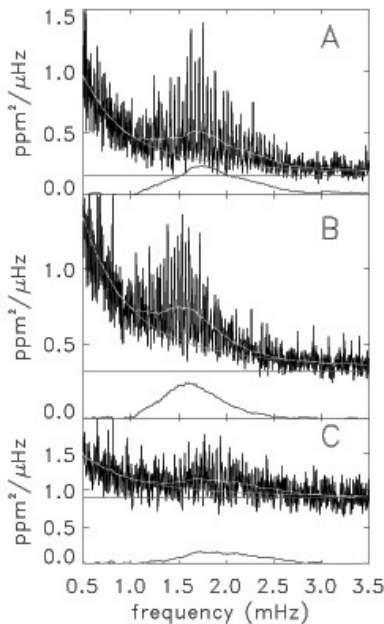


CoRoT

En découvrant les oscillations du Soleil, les chercheurs ont réalisé qu'ils ouvraient en quelque sorte une fenêtre sur l'intérieur de notre étoile. À l'instar de la propagation des ondes sismiques sur Terre qui nous informent sur la structure interne de la planète, les ondes sonores qui se propagent à l'intérieur du Soleil fournissent des informations sur ce qui se trame sous sa surface.

Le satellite CoRoT, mis en orbite le 26 décembre 2006, a réussi la performance de détecter des oscillations similaires dans trois étoiles (HD499933, HD181420 et HD181906). Ces étoiles sont assez semblables au Soleil, bien qu'un peu plus chaudes. Il s'agit d'étoiles assez éloignées, choisies pour que leur éclat n'aveugle pas les instruments de CoRoT.

Courbes de lumière des 3 étoiles observées par CoRoT. Crédits : LESIA.

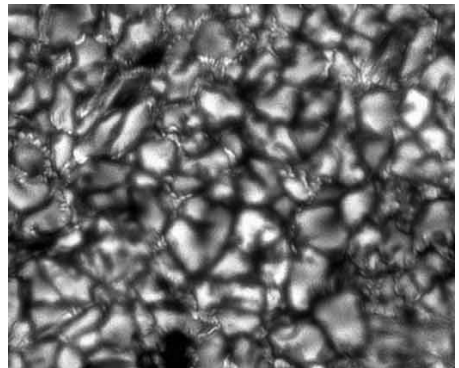


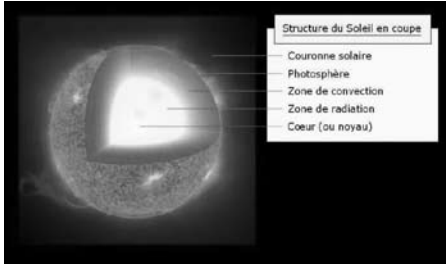
Modélisation de 4 types d'oscillations présentes dans les étoiles. (© David B. Guenther)

La méthode utilisée par CoRoT est basée sur une photométrie à très haute précision. Auparavant, dans quelques rares cas, de telles oscillations avaient été mises en évidence grâce aux variations de vitesse radiale de la surface de l'étoile, mais jamais en photométrie ni avec une telle précision. La performance de CoRoT constitue donc une grande première.

Les pulsations observées par le satellite sont des déformations périodiques de la structure de l'étoile et leur signature photométrique est une variation extrêmement faible de la luminosité de l'étoile, de l'ordre d'une part par million. À partir du sol, une telle variation

Granulation observée sur le Soleil, un granule solaire fait 1 000 km de diamètre. (© Swedish Solar Telescope ISP RSAS)





Les mouvements de convection ont lieu dans la zone de convection, ici dans le Soleil.
(© Wikipedia Commons)

serait impossible à détecter. Le satellite CoRoT bénéficie de deux avantages pour y parvenir. Tout d'abord, l'observation depuis l'espace (orbite polaire à l'altitude de 897 km) ne souffre pas de la scintillation atmosphérique et fournit donc des images stables. Ensuite, l'observation continue pendant une période très longue (de 60 à 156 jours selon le cas) permet d'éviter l'alternance jour/nuit, source de graves perturbations dans la "courbe de lumière" (variation de la luminosité au cours du temps).

L'analyse des courbes de lumière met clairement en évidence la présence de pulsations de type solaires (peigne de fréquences). Celles-ci résultent d'une excitation aléatoire de modes propres d'oscillation par les couches convectives situées dans la zone superficielle de l'étoile. Cette région est encore mal connue par suite de la complexité des mouvements turbulents générés par la convection dans les couches proches de la surface. Le spectre de fréquences et leurs amplitudes vont ainsi permettre aux scientifiques de « sonder » la structure interne de ces étoiles.

Un autre phénomène mis en lumière par ces observations est celui de la granulation qui reflète, à la surface de l'étoile, les mouvements convectifs sous-jacents.

L'étape suivante est aux mains des astrophysiciens théoriciens qui vont s'atteler à déchiffrer ces messages stellaires et améliorer ainsi la connaissance de la structure des étoiles.

L'institut d'Astrophysique, d'Océanologie et de Géophysique prend une part active à ces recherches menées avec le satellite CoRoT.

XO-3b

La Terre et les autres planètes du Système solaire tournent autour du Soleil sur des orbites situées toutes à peu près dans un même plan. Ce plan est, à quelques degrés près, le même que le plan équatorial du Soleil, déterminé par la rotation du Soleil. Le Système solaire est ainsi essentiellement plan. On pense qu'il a gardé la forme plate du disque de gaz et de poussières dans lequel il s'est formé il y a près de cinq milliards d'années.

On connaît aujourd'hui environ 300 planètes autour d'étoiles autres que le Soleil. Une cinquantaine de ces planètes extra-solaires ont par chance une orbite alignée avec la Terre, de telle sorte qu'elle passent parfois juste devant leur étoile, provoquant à chaque orbite une mini-éclipse visible depuis la Terre, que l'on appelle un transit. Ces planètes à transit permettent de réaliser de nombreuses études, et notamment de mesurer l'obliquité des orbites, c'est-à-dire l'angle entre l'axe de rotation de l'étoile et l'axe de révolution de la planète autour de l'étoile. Cette mesure se fait grâce à l'effet Rossiter-McLaughlin, du nom des deux astronomes qui l'ont prédit dans les années 20.

L'obliquité des orbites d'une dizaine de planètes extra-solaires a ainsi pu être mesurée ces dernières années. Pour chacune d'entre elles, l'orbite de la planète est coplanaire avec l'équateur de l'étoile. Cela confirme que, comme le Système solaire, les autres systèmes planétaires se sont vraisemblablement formés dans des disques proto-planétaires plats.

Cependant, un premier cas d'orbite planétaire potentiellement très oblique vient d'être révélé par une équipe d'astronomes européens. Il s'agit de la planète extra-solaire à transit XO-3b, découverte en 2007. Située à 850 années-lumière dans la constellation de la Girafe, XO-3b est une planète 12 fois plus massive que Jupiter, la plus grosse planète du Système solaire. Très proche de son étoile, elle en fait le tour en un peu plus de trois jours, et provo-

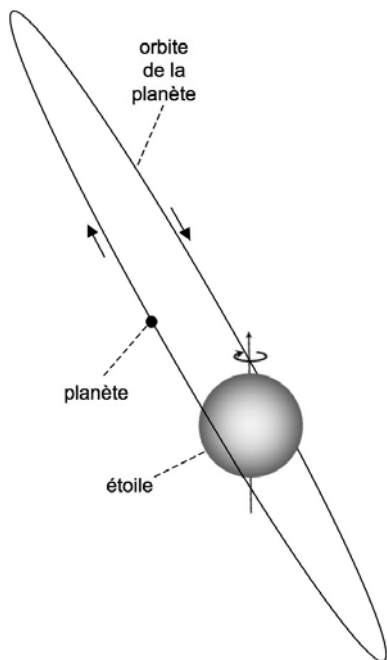


Schéma de l'orbite de la planète XO-3b, vue depuis la Terre. La planète XO-3b pourrait avoir une orbite oblique, qui la fait passer quasiment au dessus des pôles de son étoile.

© IAP, INSU-CNRS.

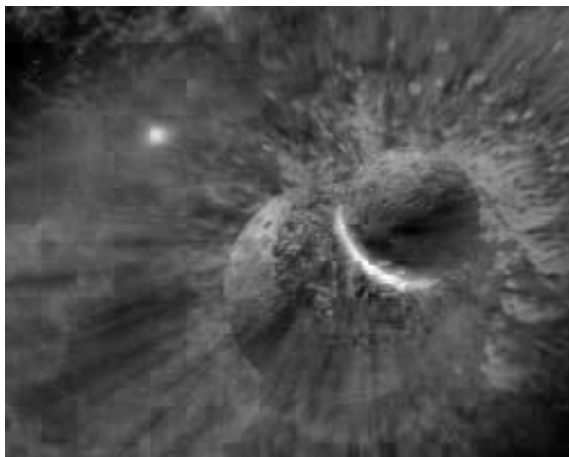
que une mini-éclipse de son étoile à chaque orbite. C'est l'un de ces transits qui a pu être observé au début de cette année avec l'instrument SOPHIE, installé sur le télescope de 193 cm de l'Observatoire de Haute-Provence. Cette observation a montré la signature typique d'une orbite quasiment polaire.

SOPHIE est le spectrographe qui remplace depuis deux ans ELODIE, le célèbre instrument qui avait permis en 1995 la découverte de la première planète extra-solaire par des astronomes de l'Observatoire de Genève. SOPHIE permet

de mesurer précisément les vitesses radiales des étoiles. Il est notamment utilisé pour un programme de recherche et de caractérisation de planètes extra-solaires autour de différents type d'étoiles.

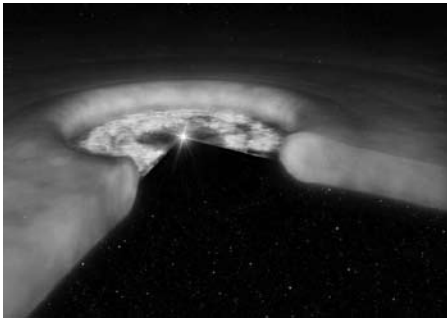
Ce résultat doit être confirmé, la fin de l'observation ayant été faite dans des conditions peu favorables, alors que l'astre observé était bas sur l'horizon. De nouveaux transits de cette planète vont ainsi être observés avec SOPHIE, et vraisemblablement par d'autres équipes avec d'autres instruments à travers le monde. Si la grande obliquité de l'orbite de XO-3b était confirmée, il s'agirait du premier cas d'orbite planétaire non-alignée sur l'équateur stellaire. Cette configuration surprenante pourrait être la signature d'un événement particulier dans la vie de cette planète depuis sa création dans un disque proto-planétaire. Elle pourrait par exemple avoir subi l'interaction gravitationnelle d'un autre astre (étoile ou planète), qui l'aurait fait sortir du plan du système. De nombreux théoriciens tentent de simuler de tels événements. Cette observation permet de contraindre ces modèles, et ainsi de mieux comprendre ce type de phénomènes.

***Une collision de planètes a pu donner son orbite curieuse à XO-3b.
(@ NASA/JPL-Caltech)***



Disque de gaz autour d'étoiles jeunes

L'instrument AMBER (Astronomical Multi-BEam combiner) sur le VLTI du mont Paranal au Chili offre désormais la possibilité unique de coupler interférométrie et analyse spectroscopique, tout en maintenant une résolution spatiale de quelques milli-arcsecondes. Grâce à cette caractéristique, les astronomes ont étudié pour la première fois l'environnement gazeux d'un échantillon de six étoiles jeunes de la famille des Herbig Ae/Be. Ces étoiles de masse intermédiaire (de 2 à 10 fois la masse du Soleil) sont encore en formation.



Vue d'artiste montrant l'environnement d'une étoile jeune.

© ESO/L. Calçada

Elles sont entourées d'un disque de matière constitué de gaz et de poussières, prélude à la formation de systèmes planétaires.

Ces observations montrent que pour deux des étoiles le gaz en provenance du disque tombe vers l'étoile centrale. Plus précisément, les mesures dans un des cas caractérisent un disque de gaz chaud (environ 1 700 degrés) non poussiéreux en rotation, et dans l'autre, le transport de matière du disque vers la surface de l'étoile sous l'action des lignes de champ magnétique. Pour les quatre autres étoiles, elles mettent en évidence un phénomène inverse : de la matière est éjectée sous forme de

vents soit directement de l'étoile, soit à partir du disque, de nouvelles observations étant requises pour en préciser la morphologie.

Ces résultats témoignent du potentiel de la spectro-interférométrie pour sonder, non seulement les poussières, mais aussi le gaz entourant ces étoiles jeunes. Les observations à venir permettront de franchir de nouvelles étapes vers la connaissance approfondie de la géométrie et de la dynamique de ce gaz circumstellaire chaud, foyer de naissance des planètes.

Météorites

La présence de champs magnétiques dans certaines météorites montre que leurs astres parents étaient en fusion aux premiers temps du système solaire et avaient développé une structure planétaire différenciée (avec noyau, manteau, croûte). Ces astres, les planétésimales, se sont ensuite agglutinés pour former les planètes actuelles. Le fait que les planétésimales n'étaient pas homogènes oblige les cosmogonistes à réviser leurs théories sur l'évolution de la structure interne des planètes.

Jupiter

La planète géante a pu être responsable du dernier « grand bombardement », une avalanche d'astéroïdes et de comètes qu'a subie la Terre il y a quatre milliards d'années et dont attestent les cratères lunaires.

Jupiter n'a donc pas eu qu'un effet protecteur sur les planètes inférieures.

Hauméa

On a découvert de nouveaux fragments abandonnés lors d'une violente collision par la nouvelle grosse planète naine, Hauméa, ex 2003 EL61. Ces morceaux se distinguent dans la ceinture de Kuiper par leur blancheur éclatante due à une surface glacée.

La présence de deux satellites autour de Hauméa avait suscité cette hypothèse de collision.

L'origine de Titan et de son atmosphère

La sonde Cassini-Huygens (NASA-ESA) a révélé l'existence d'un déficit de certains composés volatils dans l'atmosphère de Titan. Un scénario d'évolution pourrait expliquer ces déficits. Les planétésimaux à l'origine de Titan auraient subi un réchauffement durant leur migration dans la « sous-nébuleuse » de Saturne entraînant une évacuation du monoxyde de carbone et de l'argon. Krypton et argon auraient été piégés, soit dans la nébuleuse primitive pendant la formation des planétésimaux à l'origine de Titan, soit dans le sol de Titan.

Les modèles thermochimiques prédisent que le carbone et l'azote existaient essentiellement sous formes de monoxyde de carbone (CO) et d'azote moléculaire (N_2) dans la nébuleuse primitive externe, site de formation de Saturne et des constituants de son satellite Titan. Les observations réalisées par la sonde Huygens ont montré que l'atmosphère de Titan est principalement composée d'azote (N_2) et de méthane (CH_4) ce qui est contradictoire avec les modèles. En outre, une caractéristique étonnante de Titan, révélée par la sonde Huygens au cours de sa descente le 14 janvier 2005, est la déficience profonde de son atmosphère en gaz rares primordiaux tels que le xénon, le krypton et l'argon. La quasi absence des gaz rares dans l'atmosphère de Titan est étonnante puisque ces éléments chimiques ont été aisément détectés dans les atmosphères des planètes telluriques, ainsi que dans l'enveloppe de Jupiter.

Une équipe internationale vient de proposer un scénario de la formation de Titan qui explique les caractéristiques de son atmosphère. Ce scénario est en accord avec toutes les données disponibles, et en particulier les observations les plus récentes issues de la mission spatiale Cassini-Huygens.

Titan résulterait de l'accrétion de planétésimaux de glaces, initialement formés dans la nébuleuse primitive, et dont la composition aurait été profondément altérée suite à

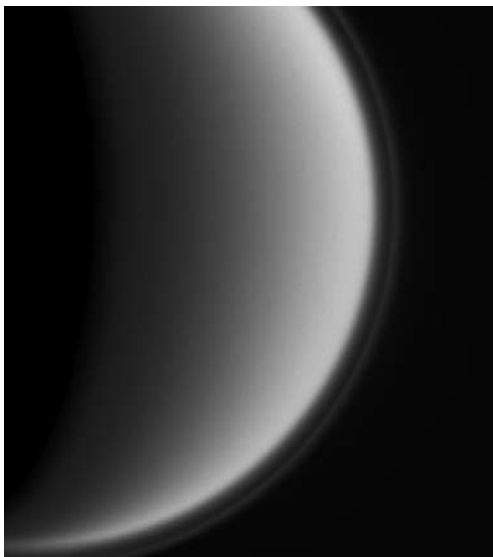
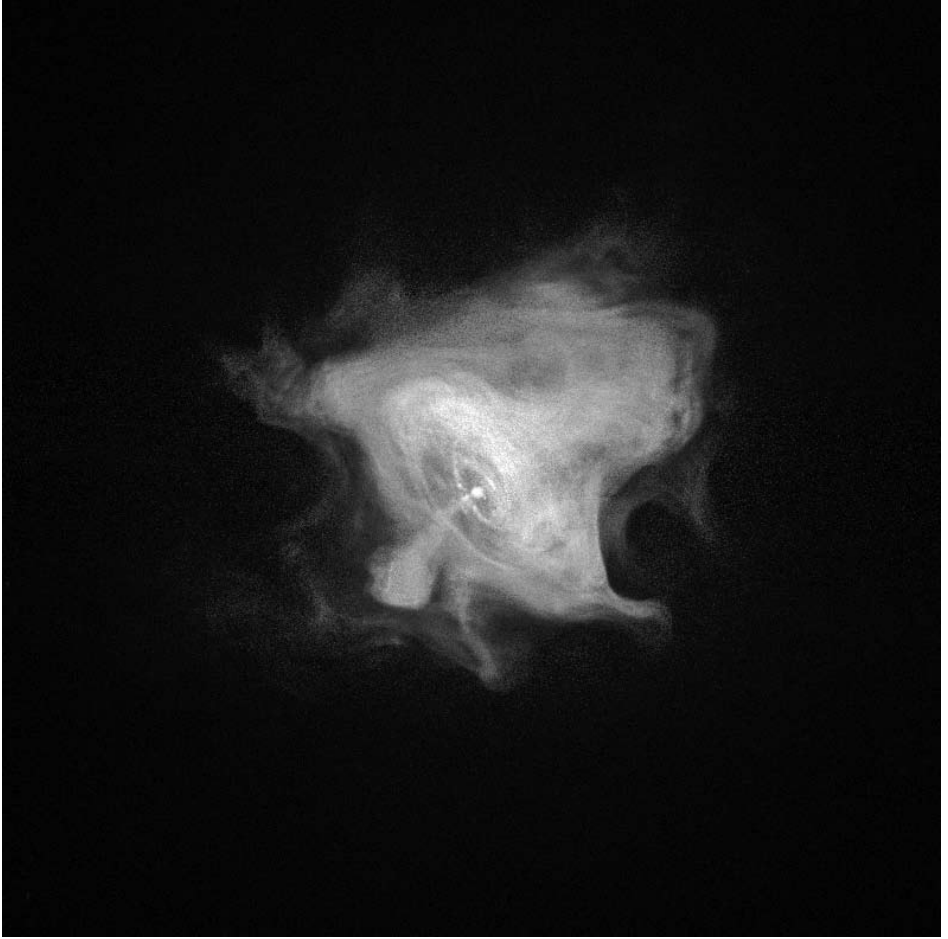


Image de Titan prise par la sonde Cassini lors de son survol le 2 juillet 2002. L'atmosphère est perpétuellement recouverte d'un brouillard.
(© NASA/JPL/Space Science Institute)

un réchauffement durant leur migration au sein de la sous-nébuleuse de Saturne. Le monoxyde de carbone et l'argon auraient ainsi été évacués des planétésimaux avant que ceux-ci ne soient accrétés par le proto-Titan.

La déficience en xénon et en krypton de l'atmosphère de Titan pourrait avoir été engendrée par deux mécanismes distincts, s'étant produits avant ou après la formation du satellite. Soit, ces gaz rares auraient pu être séquestrés par l'ion H_3^+ dans la nébuleuse primitive, impliquant alors la formation de planétésimaux appauvris en xénon et en krypton, qui auraient ensuite pris part à la formation de Titan. Soit, ces gaz rares auraient été accrétés par Titan, puis dégazés dans son atmosphère. Dans ce cas, le xénon et le krypton auraient par la suite été piégés dans une couche de clathrates située à la surface du satellite.

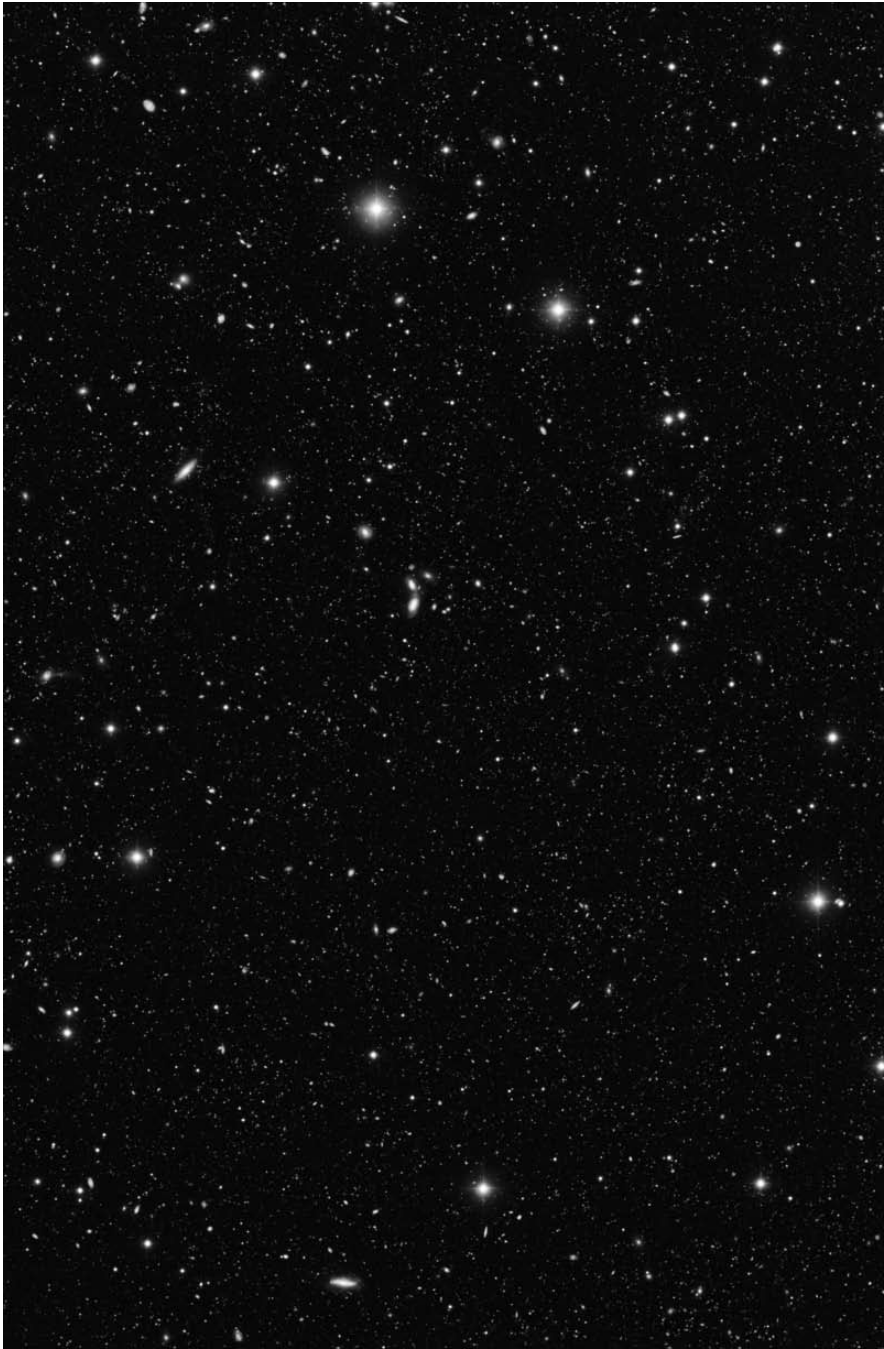
Ce scénario, proposé par une équipe internationale composée de planétologues, de chimistes et de physiciens est une belle illustration de l'interdisciplinarité en planétologie.



Le Crabe vu par Chandra

Cette image prise en rayons X par Chandra est la première qui montre la frontière de la nébuleuse constituée par le vent du pulsar du Crabe. Ce dernier est le point blanc que l'on voit au centre. La rotation rapide du pulsar et de son champ magnétique crée un champ électromagnétique intense qui provoque l'émission de jets de matière et d'antimatière aux deux pôles et d'un vent équatorial. Le premier anneau X est sans doute l'onde de choc qui marque la limite entre la nébuleuse extérieure et le courant de matière et

d'antimatière. Des électrons et des positrons en provenance de cet anneau illuminent l'anneau extérieur et produisent une émission diffuse X. Les baies, boucles et excroissances diverses indiquent que le champ magnétique de la nébuleuse et les filaments froids contrôlent le mouvement des électrons et de leurs antiparticules. Celles-ci se meuvent sagement le long des lignes de force sur des années-lumière avant de rayonner leur énergie. Les baies sombres en bas à gauche et à droite de l'image reflètent probablement l'existence d'un champ toroïdal relique de l'étoile progénitrice.
(© NASA/CXC/SAO/F.Seward et al.)



À gauche : le champ CDFS (Chandra Deep Field South) observé dans les bandes U, B et R avec les instruments VIMOS et WFI de l'ESO. Les observations ultraviolettes (U) de VIMOS ont demandé plus de 40 heures et constituent l'image la plus profonde jamais obtenue depuis le sol dans ce domaine. L'image couvre plus de 20 minutes d'arc de haut et montre des galaxies un milliard de fois plus faibles que ce que l'œil nu peut percevoir. (© ESO/Mario Nonino, Piero Rosati et ESO GOODS Team)

L'univers en UV

Cette image de myriades de galaxies montre le Chandra Deep Field South (CDF-S), probablement la mieux étudiée des régions du ciel. C'est l'une des deux régions sélectionnées dans le cadre du recensement Great Observatories Origins Deep Survey (GOODS), un effort de la communauté astronomique unissant les observations les plus profondes dans tous les domaines de longueur d'onde. Le but de ce recensement est de fournir aux astronomes les moyens d'étudier l'univers lointain, la formation et l'évolution des galaxies.

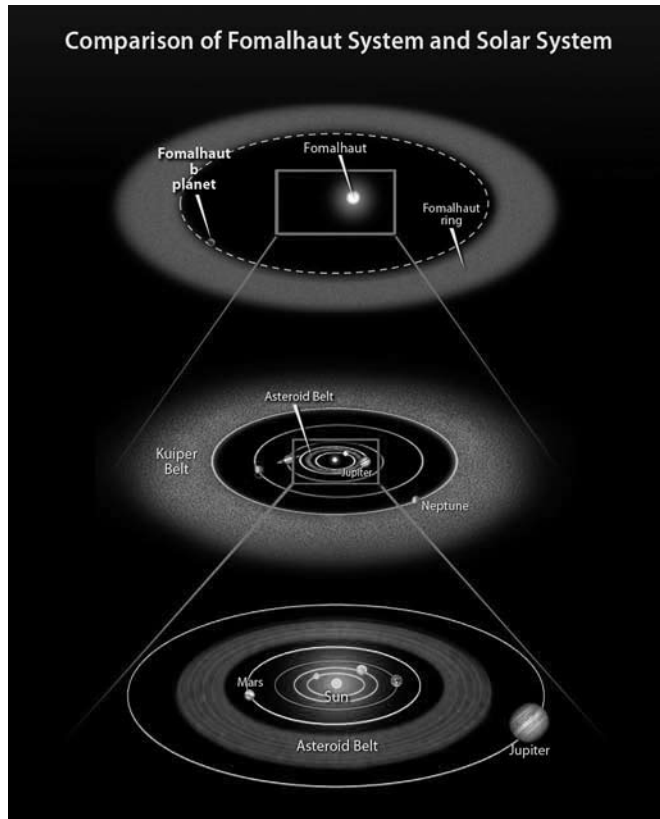
L'image publiée par l'ESO combine des données obtenues avec VIMOS au Paranal dans les bandes U-et R, ainsi que d'autres acquises dans la bande B avec le Wide-Field Imager (WFI) à la Silla. L'image U est le résultat de 40 heures de poses combinées et montre un ciel jonché de galaxies jusqu'à des distances inimaginables, correspondant à un univers seulement âgé de deux milliards d'années.

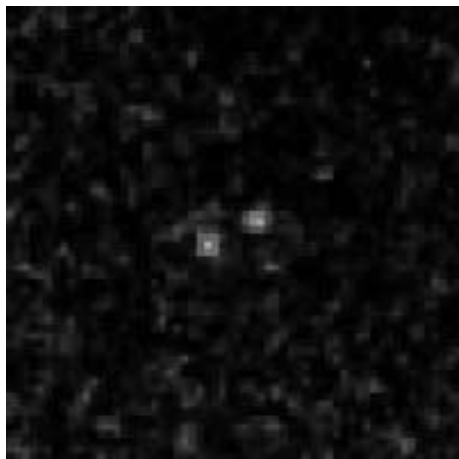
En plus des galaxies, on peut voir quelques étoiles, beaucoup plus proches, évidemment. L'une d'elles est si près de nous qu'on peut constater son mouvement au cours des quelques années sur lesquelles les poses ont été obtenues (à gauche de la deuxième étoile en brillance).

Images d'exoplanètes ?

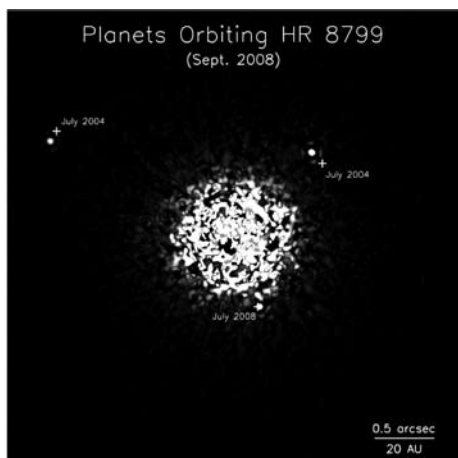
Le télescope spatial Hubble vient probablement d'enregistrer la première image dans le domaine visible d'une exoplanète. Celle-ci, seulement trois fois plus massive que Jupiter semble-t-il, tourne autour de l'étoile Fomalhaut en un peu moins de neuf siècles. La structure particulière du disque de poussières entourant Fomalhaut avait suggéré il y a quelques années

Comparaison du disque de poussières de Fomalhaut et des orbites des planètes du système solaire, ainsi que de la ceinture principale d'astéroïdes et de la ceinture de Edgeworth-Kuiper.
(© NASA/ESA/Ann Feild)





Composite montrant les positions de la planète présumée (Fomalhaut b) dans des images obtenues par le télescope spatial Hubble en 2004 et 2006. Les astronomes en déduisent que Fomalhaut b parcourt son orbite en 872 ans. (©NASA/ESA/JPL)



Le système de HR 8799. C'est peut-être la première image d'un système planétaire autre que le nôtre. L'image est la combinaison de trois prises dans différents domaines de l'infrarouge avec le Keck de 10 m. Les planètes présumées sont à 70, 40 et 25 unités astronomiques de l'étoile.

(© C. Marois (NRC-HIA), IDPS survey, Keck Observatory)

la présence d'une planète. Cette image confirme de façon spectaculaire cette hypothèse. La brillance de la planète suggère qu'elle est elle-même entourée d'un anneau de glace, comme Saturne.

Dans l'infrarouge proche, et depuis le sol, ce sont peut-être aussi trois exoplanètes que le télescope géant Keck a photographiées d'un seul coup autour de l'étoile HR 8799. Il a fallu appliquer des techniques sophistiquées d'analyse d'image pour séparer les trois objets de l'éclat aveuglant de l'étoile. Cela ressemble bien à un système planétaire, mais les masses estimées des trois objets sont proches de la limite des naines brunes. Il faudra donc confirmer leur nature exacte.

Epsilon Eridani

Le plus proche système planétaire comporterait deux ceintures principales d'astéroïdes, au lieu d'une comme dans le système solaire. Il est de plus entouré d'une troisième ceinture, beaucoup plus vaste, analogue au réservoir de comètes qu'est notre ceinture de Kuiper.

L'étoile Epsilon de l'Éridan n'est qu'à une dizaine d'années-lumière de nous. Elle ressemble un peu au Soleil, en plus jeune.

Epsilon Eridani et ses disques de débris. *Vision d'artiste (© JPL)*

